

学校编码: 10384

学号: 25320081151808

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

UDC\_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

# 各种环境条件对混凝土中钢筋腐蚀作用的 分级研究

Classification of Reinforcement Corrosion In Concrete By

Various Environmental Conditions

余志勇

指导教师姓名: 石建光 教 授

专 业 名 称: 结 构 工 程

论文提交日期: 2011 年 5 月

论文答辩时间: 2011 年 6 月

学位授予日期: 2011 年 6 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2011 年 6 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

## 摘要

材料的腐蚀与接触的环境有密切的关系，混凝土结构接触的环境包括:大气环境、土壤环境、海洋环境、滨海环境、河流环境以及特殊的工业制造环境等。钢筋混凝土结构由于长期受到腐蚀作用的影响，造成混凝土性能劣化、钢筋锈蚀、钢筋与混凝土之间粘结退化，从而导致钢筋混凝土结构耐久性降低而提前发生破坏。不同的环境对钢筋混凝土的腐蚀的作用大小不一样，如果能够根据各结构特有的环境条件进行耐久性设计，就可以在总体上保证混凝土结构的安全性、耐久性和经济性。

本文在研究影响钢筋混凝土耐久性的因素的基础之上，对钢筋混凝土所在的一般大气环境、土壤环境、海洋氯离子环境进行分析，对各种环境下混凝土中钢筋腐蚀作用进行了分级研究。同时通过模拟钢筋混凝土所处的环境，来验证各种环境下混凝土中钢筋腐蚀的大小，为各种环境条件对混凝土中钢筋腐蚀的作用和分级研究提供试验基础。本文具体的研究内容如下：

1.对目前国内外钢筋混凝土结构耐久性研究的情况进行了总结分析，特别是混凝土结构所处的耐久性环境划分的发展。

2.系统总结在一般大气环境下影响混凝土耐久性的主要因素，并采用坐标法将一般大气环境下混凝土结构腐蚀环境划分为了 5 个级别。

3.阐述土壤环境下混凝土结构的腐蚀行为以及土壤腐蚀的评定方法，并指出不足，为滨海土壤环境划分提供理论依据。

4.在阐述氯离子腐蚀机理和近海大气氯离子分布基础之上，拟合出近海大气的水平与垂直方向上氯离子浓度函数。进一步推导出氯离子在滨海大气环境下任意点的浓度函数，并将滨海大气环境划分为了 4 个级别。

5.利用设计制作的圆锥形、圆柱形传感器，分别模拟钢筋在大气环境、海水环境、干湿交替环境、土壤环境下的腐蚀行为。同时验证各种环境下混凝土耐久性的差异性以及传感器电阻在混凝土中的变化规律。

关键词：钢筋混凝土结构 环境腐蚀 分级分类 圆锥形传感器

## Abstract

The relationship between material corrosion and environment is intimate. The concrete structures of the environment which is included: contact atmospheric environment, soil environment, marine environment, and coastal environment, rivers environment and special industrial manufacturing environment, etc. Because of the long-term corrosion of reinforced concrete structure, which is resulted the reinforced concrete performance degradation, rebar corrosion, and the bonding between rebar and concrete degradation. Finally Leading to reinforced concrete structure damage occurs early. Different environment on the corrosion of reinforced concrete function size is different, if we design which is according to each structure peculiar environmental conditions, we can guarantee security and durability of the concrete structures and economy in overall.

Based on the study of influence factors of reinforced concrete durability, and analysis the general atmosphere environment, soil environment, marine chloride ions environment, finally classify the reinforced concrete durability environment. At the same time through simulation the various environment of reinforced concrete, to test various environment in the size of the corrosion of reinforcement concrete, in order to offer the foundation of corrosion of reinforcement in concrete and classification in various environmental conditions. This content of the paper as follows.

1. Analyzed the current durability of reinforced concrete structures, especially the durability of concrete structures environment division

2. Summarized the main factors which affected concrete durability in general atmospheric environments, and use the method of coordinate to divide the concrete structure endurance environment in the general atmospheric environment to 5 level.

3. Described corrosion behavior of concrete structures in soil environment and the evaluation method of soil erosion, and pointed out the lack of the evaluation

conditions ,in order to provide the basis theoretical of coastal soil environment division.

4.In explaining the corrosion mechanism and chloride ion distribution in the coastal atmospheric and then fitted the function of chloride concentration in horizontal and vertical direction. Derived the coastal concentration of Chloride ion functions at any point in coastal atmospheric environment,and divide the atmospheric environment into four areas.

5.Using conical design, cylindrical-shaped sensors to simulate the corrosion behavior of reinforced in the atmosphere environment, marine environment, alternating wet, dry environment and the soil environment. Verify the durability of concrete under various environments, and changes in the sensor resistance variation in concrete .

**Key words:** Reinforced concrete structure ; Environmental corrosion; Classification category; Spiral-shaped sensor

# 目 录

<b>第一章 绪论</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景	1
1.1.1 混凝土结构的耐久性	1
1.1.2 腐蚀对混凝土结构的影响	2
1.2 钢筋混凝土耐久性研究的主要内容	3
1.2.1 材料层次的研究	3
1.2.2 构件层次的研究	3
1.2.3 结构层次的研究	4
1.3 钢筋混凝土结构腐蚀环境分级的重要性	4
1.4 钢筋混凝土结构所处环境的分级现状	5
1.5 本文研究的主要内容	8
参考文献	9
<b>第二章 大气环境对混凝土中钢筋腐蚀的作用与分级</b>	<b>11</b>
2.1 气候环境调查分析	11
2.2 混凝土的碳化	12
2.2.1 混凝土碳化机理分析	12
2.2.2 混凝土碳化深度预测模型	13
1. 理论模型	13
2. 经验模型	13
2.2.3 混凝土碳化的影响因素	15
1 温度的影响	15
2 相对湿度的影响	16
3 CO <sub>2</sub> 浓度的影响	18
2.3 冻融循环	19
2.3.1 冻融的作用机理	19
2.3.2 冻融的指标确定	19
2.4 酸雨	19
2.4.1 年平均 pH 值	19
2.4.2 酸雨的作用机理	20
2.4.3 酸雨指标的确定	21

2.5 大气环境下混凝土腐蚀环境分级 .....	21
2.5.1 分级指标的选取 .....	21
2.5.2 一般大气环境分级 .....	21
2.5.3 环境分级调整 .....	22
2.5.4 分级结果验证 .....	23
2.6 本章小结 .....	24
参考文献 .....	25
<b>第三章 土壤环境对混凝土钢筋腐蚀的作用与分级 .....</b>	<b>27</b>
3.1 土壤腐蚀研究状况 .....	27
3.2 土壤的类别 .....	27
3.3 土壤对混凝土材料腐蚀的机理 .....	28
3.3.1 溶出性腐蚀 .....	28
3.3.2 分解性腐蚀 .....	29
3.3.3 酸性腐蚀 .....	29
3.3.4 碳酸腐蚀 .....	30
3.3.5 硫氢酸侵蚀 .....	30
3.4 影响土壤腐蚀的因素 .....	31
3.5 现有土壤环境腐蚀分级 .....	32
3.5.1 电阻率法 .....	32
3.5.2 含水量法 .....	33
3.5.3 含盐量法 .....	33
3.5.4 氧化还原电位法 .....	34
3.5.5 PH 值法 .....	34
3.5.6 多项指标的综合评价法 .....	34
3.5.7 其他方法 .....	36
3.5.8 现有规范中的土壤环境分级 .....	36
3.5.9 不同评价方法的对比分析 .....	38
3.6 本章小结 .....	38
参考文献 .....	39
<b>第四章 海洋氯离子环境对混凝土中钢筋腐蚀的作用与分级 .....</b>	<b>40</b>
4.1 氯离子环境下混凝土材料耐久性的研究现状 .....	40
4.2 氯离子环境下钢筋腐蚀机理分析 .....	40
4.2.1 钝化膜的形成 .....	40
4.2.2 氯离子环境下钢筋的锈蚀机理 .....	41
4.2.3 氯离子环境钢筋锈蚀的特点 .....	42
4.2.4 氯离子环境钢筋锈蚀的发展过程 .....	43



4.3. 氯离子环境下钢筋坑蚀模型 .....	44
4.4. 海洋环境对混凝土中钢筋腐蚀作用分级 .....	45
4.4.1 海洋环境分区 .....	45
4.4.1 海洋大气环境下氯离子分布 .....	47
4.4.2 海洋环境下腐蚀作用分级 .....	47
4.5 滨海大气环境分级 .....	49
4.5.1 滨海大气环境下氯离子分布 .....	49
4.5.2 滨海大气环境景观锚链调查分析 .....	53
4.5.3 现有分级的不足之处 .....	54
4.5.4 滨海大气环境腐蚀作用分级 .....	54
4.5.5 分级调整 .....	56
4.6 滨海土壤环境分级 .....	56
4.6.1 滨海土壤腐蚀特点 .....	56
4.6.2 滨海土壤腐蚀面临的问题 .....	57
4.6.3 滨海土壤环境腐蚀分级 .....	58
4.7 分级示例 .....	58
4.8 本章小结 .....	59
参考文献 .....	60
<b>第五章 各种环境对混凝土中钢筋腐蚀作用的试验研究 .....</b>	<b>62</b>
5.1 各种环境下传感器的裸露试验 .....	62
5.1.1 试验介绍 .....	62
5.1.2 试验结果分析 .....	64
5.2 各种环境下传感器在混凝土的试验 .....	67
5.2.1 试验介绍 .....	67
5.2.2 试验结果分析 .....	71
5.3 本章小结 .....	74
参考文献 .....	76
<b>第六章 结论与展望 .....</b>	<b>77</b>
6.1 结论 .....	77
6.2 展望 .....	77
<b>致 谢 .....</b>	<b>79</b>
<b>攻读硕士学位期间发表的论文目录 .....</b>	<b>80</b>

## Contents

<b>Chapter1 Preface</b>	<b>1</b>
<b>1. 1Research background</b>	<b>1</b>
1.1.1The durability of the concrete structures	1
1.1.2The impact of corrosion in concrete structures	2
<b>1.2 The main contents of reinforced concrete durability</b>	<b>3</b>
1.2.1 The research of material level	3
1.2.2The research of Component level	3
1.2.3The research of structure level	4
<b>1.3The importance of different environment classification for the concrete durability</b>	<b>4</b>
<b>1.4 The current situation of reinforced concrete structure environmental classification</b>	<b>5</b>
<b>1.5The main contents of this paper</b>	<b>8</b>
Reference	9
<b>Chapter2 The role of atmospheric environment in the corrosion of reinforcement in concrete</b>	<b>11</b>
<b>2.1Climate environment survey and analysis</b>	<b>11</b>
<b>2.2Concrete carbonation</b>	<b>12</b>
2.2.1The mechanism analysis of concrete carbonization	12
2.2.2The depth forecast model of concrete carbonation	13
1.The theory model	13
2.The experience model	13
2.2.3The influence factors of concrete carbonation	14
1 Influence of temperature	15
2 Influence of relative humidity	16
3 Influence of CO <sub>2</sub> concentration	18

<b>2.3 Freeze-thaw cycle.....</b>	<b>19</b>
2.3.1 Freeze-thaw mechanism.....	19
2.3.2 Index confirmation of freeze-thaw.....	19
<b>2.4 Acid rain.....</b>	<b>19</b>
2.4.1 Annual average of PH value.....	19
2.4.2 The mechanism of acid rain.....	20
2.4.3 Index determination of acid rain.....	21
<b>2.5 The durability of concrete environmental grading in Atmospheric environment.....</b>	<b>21</b>
2.5.1 Graded index selection.....	21
2.5.2 Classification of general atmospheric environmental.....	21
2.5.3 Environment grading adjustment.....	22
2.5.4 Grading results verify.....	23
<b>2.6 Conclusions.....</b>	<b>24</b>
<b>Reference.....</b>	<b>25</b>
 <b>Chapter 3 The role of Soil environment in the corrosion of reinforcement concrete.....</b>	 <b>27</b>
<b>3.1 Study condition of soil corrosion.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Soil category.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 The corrosion mechanism of concrete material in soil.....</b>	<b>28</b>
3.3.1 Dissolution corrosion.....	28
3.3.2 Decomposition corrosion.....	29
3.3.3 Sour corrosion.....	29
3.3.4 Carbonic acid corrosion.....	30
3.3.5 Sulfur hydrogen acid erosion.....	30
<b>3.4 Influence factors of soil erosion.....</b>	<b>31</b>
<b>3.5 Environmental classification of soil erosion.....</b>	<b>32</b>

3.5.1 Resistivity method.....	32
3.5.2 Moisture method.....	33
3.5.3 Salinity method.....	33
3.5.4 Oxidation redox potential method.....	34
3.5.5 PH value method.....	34
3.5.6 Comprehensive Evaluation of mang indicators.....	34
3.5.7 Other methods.....	36
3.5.8 The existing standard soil environmental grading.....	36
3.5.9 Comparative analysis of different assessment methods.....	38
<b>3.6 Conclusions.....</b>	<b>38</b>
<b>Reference.....</b>	<b>39</b>
 <b>Chapter 4 The role of reinforcement corrosion in concrete and</b>	
<b>grading in chloride ion on the marine environment.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Research Status of the durability of concrete In Chloride Environment.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2 steel corrosion mechanism analysis in Chloride environment.....</b>	<b>40</b>
4.2.1 Passivation membrane formation.....	40
4.2.2 Corrosion mechanism of reinforced in chlorine ion environment.....	41
4.2.3 Characteristics of steel corrosion in Chlorine ion environment.....	42
4.2.4 Rebar corrosion process of development in chlorine ion environment.....	43
<b>4.3 Reinforced pit corrosion model of chloride environment.....</b>	<b>44</b>
<b>4.4 The durability of concrete grading in marine environment.....</b>	<b>45</b>
4.4.1 Marine environmental division.....	45
4.4.1 chloride ions distribution in marine atmospheric environmental.....	47
4.4.2 The durability of concrete action grading in marine environment.....	47
<b>4.5 The durability of concrete grading in coastal atmospheric environments.....</b>	<b>49</b>
4.5.1 Chloride ions distribution in coastal atmospheric environment.....	49
4.5.2 Landscape chain survey analysis in coastal atmospheric environmental.....	53
4.5.3 Deficiency of classification.....	54
4.5.4 Coastal atmospheric environmental corrode grading.....	54

4.5.5 Grading adjustment.....	56
<b>4.6 The role of reinforcement concrete corrosion with grading in Coastal soil environment.....</b>	<b>56</b>
4.6.1 Coastal soil erosion characteristics.....	56
4.6.2 The problem of coastal soil erosion.....	57
4.6.3 Corrosion classification of coastal soil environmental.....	58
<b>4.7 Grading example.....</b>	<b>58</b>
<b>4.8 Conclusions.....</b>	<b>59</b>
Reference.....	60
<b>Chapter 5 Experimental research of reinforcement corrosion in concrete by various environmental conditions.....</b>	<b>62</b>
<b>5.1 Bare test of resistance probe in various environment.....</b>	<b>62</b>
5.1.1 Test introduction.....	62
5.1.2 Analysis of experiment result.....	64
<b>5.2 Test of sensors in concrete under in variou environment.....</b>	<b>67</b>
5.1.1 Test introduction.....	67
5.1.2 Analysis of experiment result.....	71
<b>5.3 Conclusions.....</b>	<b>74</b>
<b>Reference.....</b>	<b>76</b>
<b>Chapter6 Conclusions and future research.....</b>	<b>77</b>
6.1 Conclusions.....	77
6.2 Future research.....	77
<b>Acknowledgements.....</b>	<b>79</b>
<b>List of published of accepted papers.....</b>	<b>80</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景

#### 1.1.1 混凝土结构的耐久性

钢筋混凝土结构结合了钢筋与混凝土的优点，而且造价较低，是土木工程结构设计中采用的主要形式之一，所以其应用范围相当的广泛。随着新的结构计算理论的提出和新型建筑材料的出现，将来会出现越来越多新的结构类型，但钢筋混凝土结构仍然会是新世纪最常用的结构形式之一。

结构的耐久性<sup>[1]</sup>是指在正常设计、正常施工、正常使用、正常维护条件下，在规定的时间内，由于结构构件性能随时间的劣化，但仍能满足预定功能的能力。一般情况下，在结构设计中，耐久性被看成是结构所需的一种功能而不是其固有的内在性能，因此耐久性又被定义为结构及其部件在各种可能导致材料性能劣化的外加因素作用下、并在预期的使用年限内维持其所需功能的能力。而结构及其部件的工作寿命是建造完工或生产制成以后，在预定的使用和维修环境下，所有功能均满足预定要求的期限。随着近十几年来科学的迅猛发展，以性能设计和生命周期全过程优化为代表的新一代设计思想的诞生，为混凝土耐久性赋予了新的含义，即建筑结构在设计要求的生命周期内，在保证其安全性、使用功能和外观要求的条件下，考虑建造和维修的宏观造价最优。在各种产生耐久性损伤与破坏的原因中，钢筋腐蚀引起的结构过早破坏是混凝土结构最为突出的一大灾害<sup>[2]</sup>。MEHTA 教授<sup>[3]</sup>在 1991 年召开的第二届混凝土耐久性国际学术会议上作了题为“混凝土耐久性 50 年进展”的主旨报告，报告中指出：“当今世界，混凝土结构的破坏原因按重要性排列为：混凝土中的钢筋锈蚀、寒冷气候下的冻害、侵蚀环境的物理化学作用”，说明钢筋锈蚀对结构破坏的作用。

在钢筋混凝土结构中，混凝土材料自身是非均质的脆性材料，抗拉和抗弯能力较差，为了更好的承受拉应力，才加入了钢筋这种抗拉性能好的材料。正是依靠钢筋与混凝土间良好的粘结力，保证了钢筋与混凝土的共同作用<sup>[4]</sup>。这种共同作用都为对方提供了良好的保护措施。一方面，钢筋承受了拉应力，提高了结构

或者构件的受拉性能；另一方面，混凝土为钢筋提供了物理和化学的双重保护，不仅可以部分阻挡侵蚀性介质对钢筋的直接接触，还因为其孔溶液的高碱性可以使钢筋表面钝化。但是由于外界环境侵蚀作用，使得这种共同作用在未达到预定的目标年限前已经失效。因此，混凝土结构的耐久性研究已经成为了当今世界最需要解决的难题之一。

### 1.1.2 腐蚀对混凝土结构的影响

世界上一般的经济发达国家的工程建设在经历了‘大规模新建’和‘新建与改造、维修并重’等两个阶段后，目前正处于重点转向‘旧建筑的改造’的第三阶段，大量结构因耐久性不足而导致失效，或者为了继续正常使用付出了高昂的维护代价。腐蚀在世界范围内都带来了极为巨大的经济损失。有统计，每年因腐蚀带来的经济损失占各国本年度国民经济总产值(GNP)的 3%~5%；美国为 4%，英国为 3%~5%，日本为 1%~2%<sup>[5]</sup>。

在美国，据统计：美国的混凝土总价值高达 6 万亿美元，由于耐久性受损原因造成的重建与维修费用高达数千亿美元；在价值 1 万亿美元的公路系统中，有 25 万座桥梁遭受破坏，对其重建与维修的费用约为 4500 亿美元。在英国，仅每年用于修补 10%总数的公路桥梁腐蚀破坏的费用就高达 6.165 亿英镑<sup>[6]</sup>。而仅 1972 年建造成的总费用 2800 万英镑的英格兰岛中环线快车道上的 11 座高架桥，使用两年后就发现因钢筋腐蚀使混凝土胀裂，到 1989 年，其修补费已高达 4500 万英镑，为其造价的 1.6 倍<sup>[7]</sup>，估计在未来 15 年还要耗资 12 亿英镑，累计接近当初造价的 6 倍。日本每年仅用于房屋结构维修的费用就达 400 亿日元，大约有 21.4%的钢筋混凝土结构损坏是因钢筋锈蚀引起的。引以为豪的新干线使用不到 10 年就出现大面积混凝土开裂、剥蚀现象<sup>[8]</sup>。

据 1986 年国家统计局和建设部对全国城乡 28 个省、市、自治区 322 个城市和 5000 个镇进行普查的结果<sup>[9]</sup>，我国已有城镇房屋建筑面积  $46.76 \times 10^8 \text{ m}^2$ ，占全部房屋建筑面积的 60%，已有工业厂房约  $5 \times 10^8 \text{ m}^2$ ，覆盖的国有资产超过 5000 亿元，这些建筑物中约有  $23 \times 10^8 \text{ m}^2$  需要分期分批进行评估加固。而其中半数以上急需维修之后才能正常使用。另外据 1994 年铁路秋季检查统计<sup>[10]</sup>，在全国共有 6137 座铁路桥存在着不同程度的损伤，占铁路桥总数的 18.8%。

有国外学者用“五倍定理”来描述钢筋混凝土腐蚀导致的经济影响，即设计时在耐久性方面每节省 1 美元，就意味着在发现钢筋锈蚀时需要追加维护费 5 美元。在我国正处于大规模建设阶段，更应重视钢筋混凝土结构的耐久性问题，加强对钢筋混凝土结构耐久性的研究，大力发展防腐蚀技术，尽量减少腐蚀带来的损失，从而做到资源节约，争创节约型社会<sup>[11]</sup>。

## 1.2 钢筋混凝土耐久性研究的主要内容

### 1.2.1 材料层次的研究

在材料层次，对结构耐久性进行研究，是混凝土结构耐久性研究的基本手段和关键切入点<sup>[12][13]</sup>。经过近几十年的工作，从目前已经取得的研究成果来看，主要的研究内容是钢筋混凝土结构混凝土碳化（包括碳化机理、碳化深度计算模型、影响因素、碳化深度计算模型、碳化深度的检测），氯化物腐蚀（包括氯离子渗入混凝土的机理、渗入深度和分布的计算模型、影响氯离子侵入的因素、混凝土中氯离子含量的检测、防护措施）、钢筋锈蚀（包括混凝土中钢筋锈蚀的机理、锈蚀量预测模型、影响因素、检测和预防措施、锈蚀钢筋的力学性能等）、冻融破坏（包括冻害机理、防治措施、影响因素）、碱骨料反应（包括反应机理影响因素、防治措施）。

### 1.2.2 构件层次的研究

在腐蚀环境中，当混凝土结构的材料性能发生劣化后，结构构件的承载力和适用性也随之降低，从而影响结构的安全和正常使用<sup>[14]</sup>。目前国内外研究者已对锈蚀后的钢筋混凝土构件的力学性能进行了大量试验，试验采用的构件大部分是实验室快速钢筋锈蚀试件，少部分是从已有结构拆除的自然锈蚀的钢筋混凝土构件，包括钢筋混凝土受弯、轴心受压、大小偏心受压以及钢筋抗拔试验试件或者构件。研究主要内容为混凝土胀裂关系研究（包括锈后钢筋和混凝土的粘结性能、锈后构件承载力计算、构件剩余寿命的预测）。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库